Architecture en terre d'aujourd'hui

LES TECHNIQUES DE LA TERRE CRUE



Illustrations
Pauline Sémon

Textes
Dominique Gauzin-Müller

Conseils scientifiques et techniques
Patrice Doat, Laetitia Fontaine, Hubert Guillaud

Cette bande dessinée a été réalisée dans le cadre du TERRA Award, premier prix mondial des architectures contemporaines en terre crue, lancé en 2015 sous l'égide de la chaire UNESCO « Architectures de terre, cultures constructives et développement durable ».

Pour en savoir plus:

l'exposition « Architecture en terre d'aujourd'hui », en itinérance à partir du 11 mai 2016 (Grenoble, Lyon, Bordeaux...)
le livre « Architecture en terre d'aujourd'hui » (Muséo Édition/CRAterre)
le site internet - terra-award.org











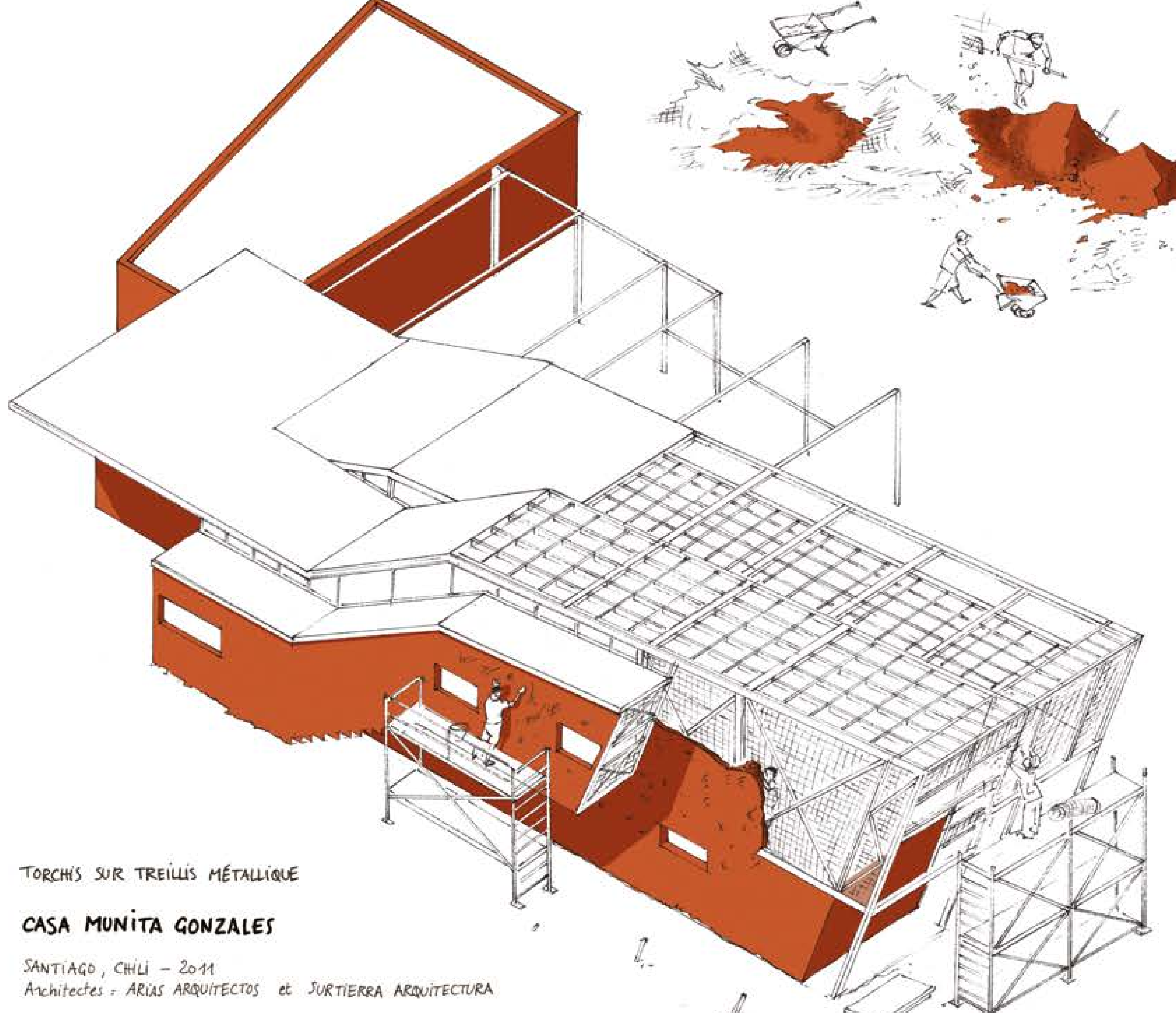



TORCHIS

TERRE ALLÉGÉE

TECHNIQUE

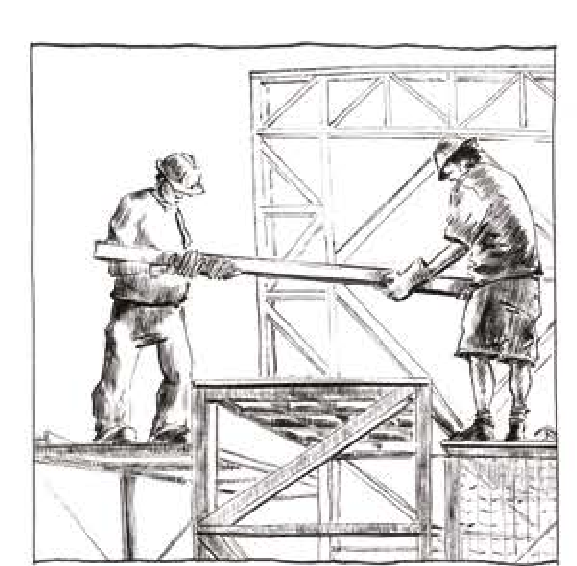
Les terres à torchis sont généralement fines, limoneuses-argileuses et collantes. Le manque de sable pouvant entraîner des fissurations, on y ajoute souvent des fibres végétales. Le mélange, mis en œuvre à l'état plastique, est étalé sur un lattis (bois, osier, bambou) ou un clayonnage, fixé dans une ossature porteuse en bois appelée colombage. Le chilien Marcelo Cortes fut l'un des premiers à décliner cette technique sur une structure métallique. L'allemand Franz Volhard a développé un principe de « terre allégée » à base de paille mélangée à une barbotine argileuse.



TORCHIS SUR TREILLIS MÉTALLIQUE

CASA MUNITA GONZALES

SANTIAGO, CHILI – 2011
Architectes : ARIAS ARQUITECTOS et SURTIERRA ARQUITECTURA



LA STRUCTURE EST MONTÉE SUR LE SITE. ELLE EST GÉNÉRALEMENT EN BOIS, MAIS ICI EN MÉTAL.



LA TERRE EST MALAXÉE AVEC DE L'EAU (15 À 30 %) POUR OBTENIR UN MÉLANGE HOMOGÈNE À L'ÉTAT PLASTIQUE, AMENDÉ ICI AVEC DE LA PAILLE.



LE MÉLANGE EST PLAQUÉ À LA MAIN SUR LA STRUCTURE, ICI EN MAILLE D'ACIER.



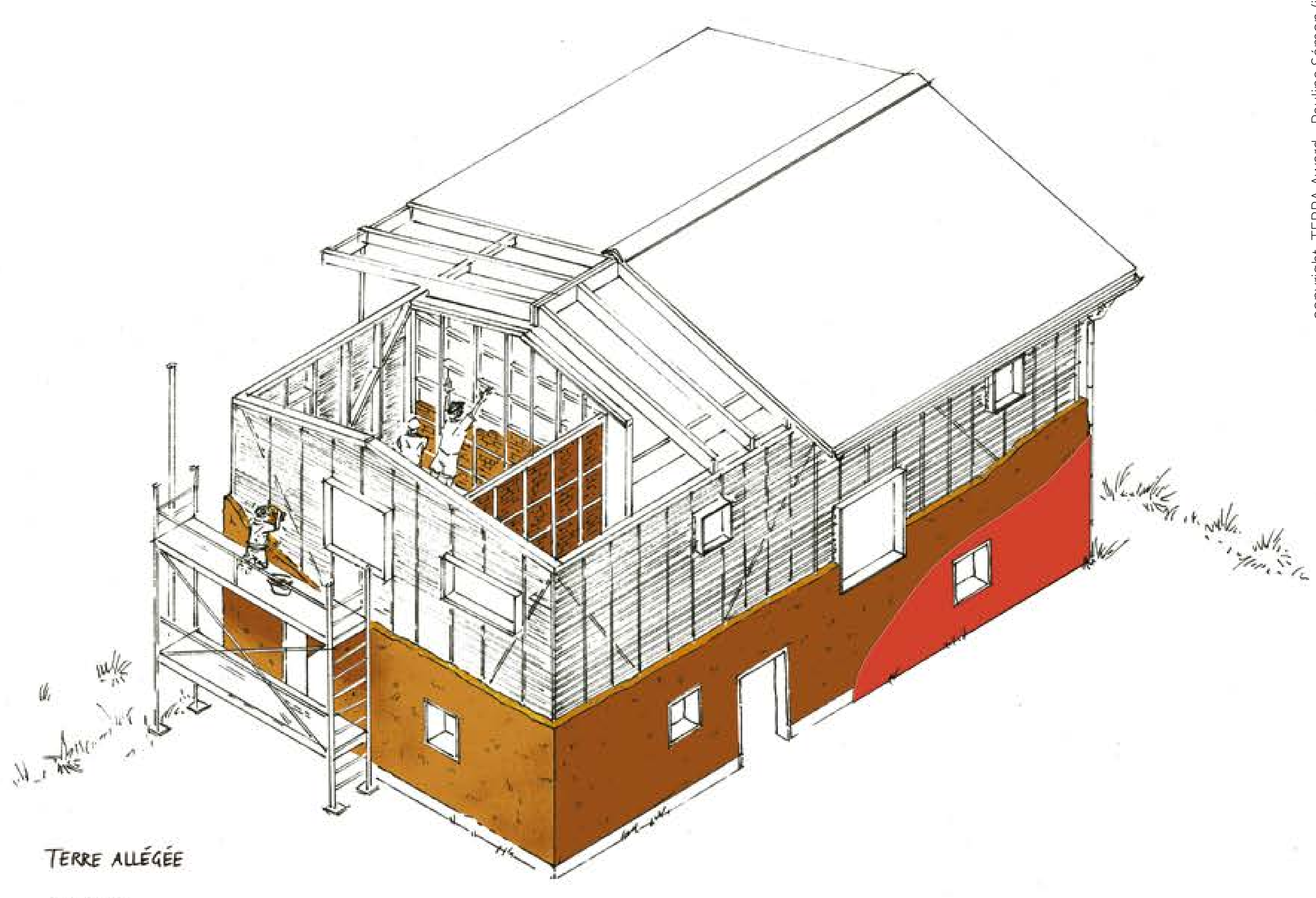
LA TERRE EST LISSÉE À LA MAIN.



LA PLANÉITÉ EST VÉRIFIÉE À L'AIDE D'UNE GRANDE RÈGLE MÉTALLIQUE.



UN ENDUIT EN TERRE, PARFOIS STABILISÉ À LA CHAUX AÉRIENNE, EST APPLIQUÉ LORSQUE LE MUR EST SEC.



TERRE ALLÉGÉE

HOUSE J

DARMSTADT, ALLEMAGNE – 2012
Architectes : SCHAUER + VOLHARD ARCHITEKTEN

HISTORIQUE

Le torchis est l'une des plus anciennes techniques de construction. Apparu vers la fin du 10e millénaire au Proche-Orient, il a été perfectionné par les cultures néolithiques du Danube avant de s'étendre aux régions boisées de l'Europe continentale. Il s'est aussi développé dans les zones tropicales humides d'Afrique et d'Amérique du Sud. Quelques sites sont classés au patrimoine mondial de l'UNESCO : centre médiéval de Strasbourg et de Provins en France, ville de Diamantina au Brésil, maisons ottomanes de Safranbolu en Turquie, tombes des rois Buganda en Ouganda.



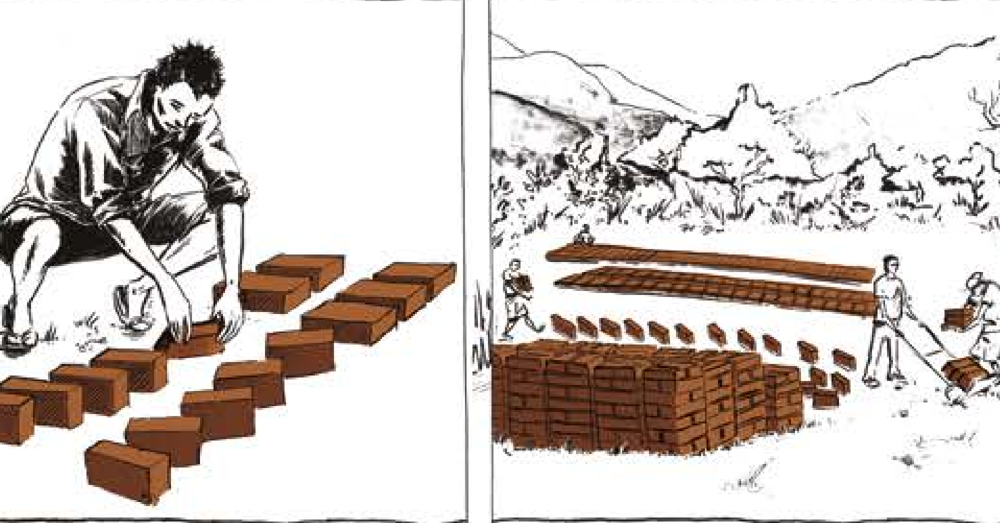
ADOBE

TECHNIQUE

L'adobe est une brique de terre crue façonnée à la main ou moulée, puis séchée pendant quelques jours à l'air libre ou sur des aires couvertes. Argiles, limons et sables sont mélangés à de l'eau pour atteindre l'état plastique, et parfois à des fibres pour réduire les fissures lors du séchage. Pour des chantiers de taille modeste, fabriquer les briques dans de petites unités de production est rapide et économique, avec des conditions variables selon les pays (industrialisés ou en développement). L'édification de voûtes et coupoles dans la continuité des murs en adobe permet de couvrir les bâtiments sans recourir à des matériaux rares et chers.

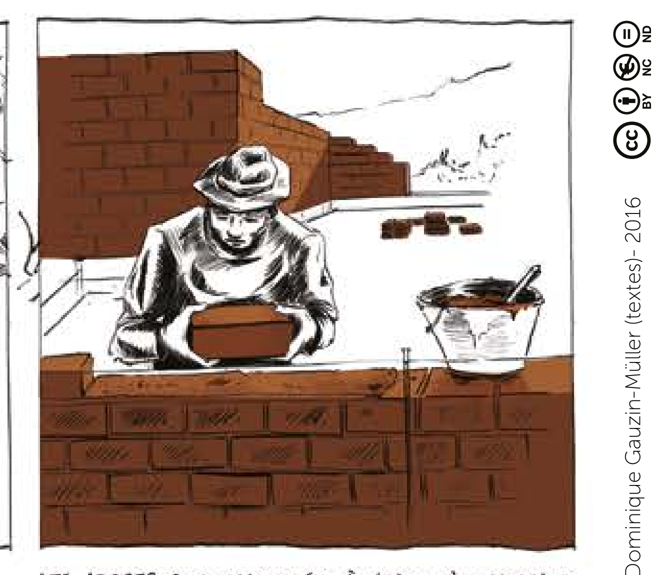


HLING BWE TOWNSHIP, BIRMANIE - 2015
Architectes : LINE RAMSTAD / GYAW GYAW

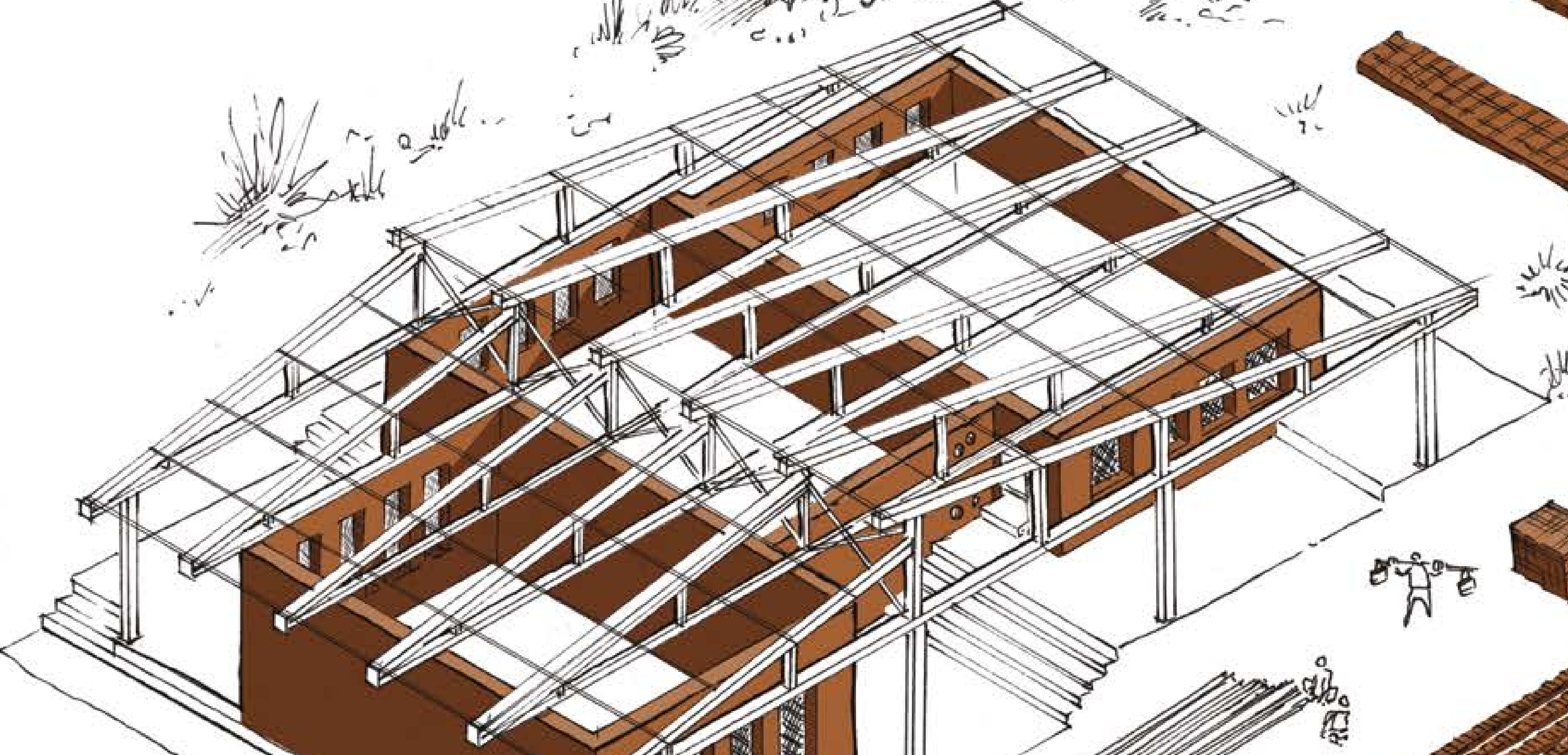


APRÈS QUELQUES JOURS, LES BRIQUES SONT MANIPULABLES SANS DÉFORMATION. ELLES SONT POSITIONNÉES SUR LA TRANCHE POUR UN SÉCHAGE HOMOGÈNE.

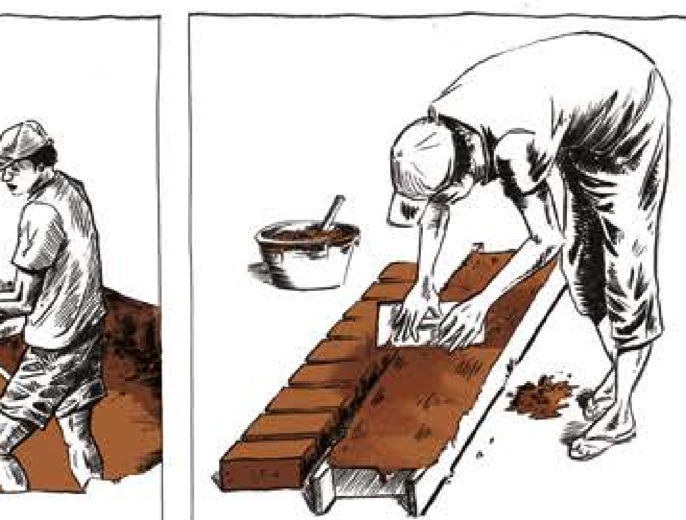
UNE FOIS SÈCHES, LES BRIQUES SONT EMPILÉES ET STOCKÉES.



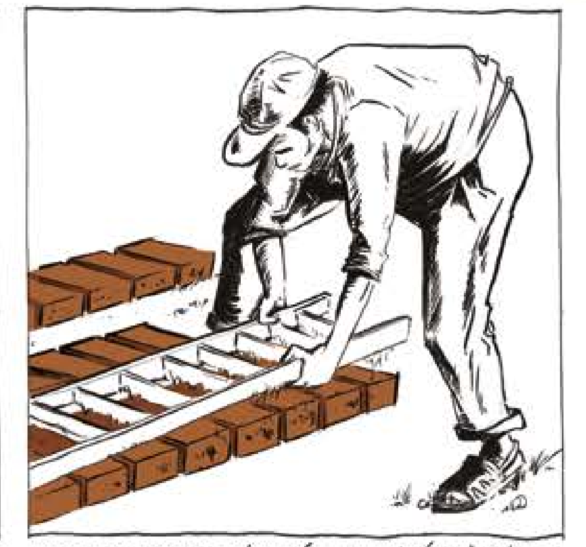
LES ADOBES SONT MAÇONNÉES À L'AIDE D'UN MORTIER DE TERRE SUR UN SOUBASSEMENT (PIERRES, BRIQUES DE TERRE CUITE...)



LA TERRE EST MALAXÉE JUSQU'À ATTEINDRE L'ÉTAT PLASTIQUE (15 À 30 % D'EAU).



UN MOULE EN BOIS AVEC UNE OU PLUSIEURS ALVÉOLES EST REMPLI AVEC LE MÉLANGE.



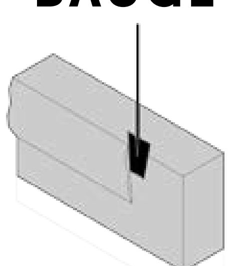
LES BRIQUES SONT DÉMOULÉES ET LAISSÉES À SÉCHER SUR DE VASTES SURFACES.

HISTORIQUE

L'origine de l'adobe coïncide avec la révolution néolithique et la sédentarisation de l'homme au Proche-Orient. Des briques de terre en forme de pain, façonnées à la main vers 8 000 avant J.-C, ont été trouvées à Jéricho et Mureybet. Les plus anciennes produites dans des moules, environ mille ans plus tard, ont été repérées à Çatal Höyük, en Turquie. Une vingtaine de centres historiques en adobe sont classés au patrimoine mondial, dont Shibam au Yémen, Tombouctou au Mali, Alep en Syrie, Lima et Mexico en Amérique latine. En France, la brique de terre crue est surtout présente en Midi-Pyrénées (Haute-Garonne, Gers, Tarn).



BAUGE



TECHNIQUE

Un mur en bauge est épais de 40 à 60 cm, voire plus, et monolithique comme le pisé. Il est généralement constitué d'un empilement de boules de terre à l'état plastique, souvent additionnée de fibres végétales et parfois d'éléments minéraux (éclats de silex ou de terre cuite broyée). Après la constitution d'une couche de 50 à 60cm de hauteur, les faces sont battues pour éviter les fissures au séchage, puis taillées afin d'obtenir une surface plane. La version rurale française consiste à entasser à la fourche des paquets de terre, mais dans la plupart des régions du globe, les murs sont façonnés à la main comme une sculpture géante.



LA TERRE, SOUVENT EXTRAITE DU SITE, EST MALAXÉE À L'ÉTAT PLASTIQUE (15 À 30 % D'EAU). ICI, ELLE A ÉTÉ ADDITIONNÉE DE PAILLE DE RIZ ET MALAXÉE PAR DES BUFFLES.



LE MÉLANGE EST ENVOYÉ DIRECTEMENT SOUS FORME DE BOULES MODELÉES À LA MAIN OU APPORTÉE DANS DES SEAUX OU DES PANIERS JUSQU'AU MUR À CONSTRUIRE.



LES BOULES SONT EMPILÉES SUR LE SOUBASSEMENT PAR COUCHES D'ENVIRON 50 À 60 CM DE HAUTEUR. ELLES SONT SOUVENT JETÉES LES UNES SUR LES AUTRES POUR UNE MEILLEURE COHÉSION.

CENTRE DE FORMATION POUR ÉLECTRICIENS

RUDRAPUR, BANGLADESH - 2008
Architecte : ANNA HERINGER

CHAQUE COUCHE EST BATTUE POUR REFERMER LES FISSURES ÉVENTUELLEMENT APPARUES LORS DU SÉCHAGE, QUI DURE ENVIRON DEUX SEMAINES.



LES DEUX FACES DU MUR SONT TAILLÉES À L'AIDE D'UNE BÊCHE OU D'UN OUTIL TRANCHANT.



LE MUR EST DÉBARRASSÉ DES BOUTS DE PAILLES QUI DÉPASSENT AFIN DE PRÉPARER UNE PAROI PLANE.

SI LA SURFACE DOIT ÊTRE ENDUITE, ELLE EST PRÉPARÉE PAR SCARIFICATION OU GRATTAGE POUR PERMETTRE UN BON ACCROCHAGE.

HISTORIQUE

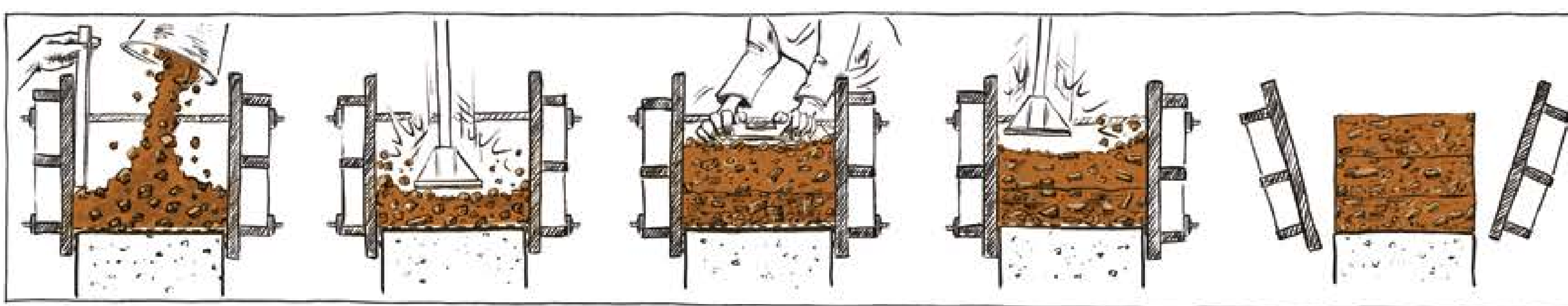
La bauge est apparue au Proche-Orient vers la fin du 10e millénaire avant J.-C., en même temps que le torchis sur branchages et les briques de terre crue façonnées à la main. Les habitats des premiers sédentaires ont été modelés avec de la terre argileuse amendée par des fibres végétales. La péninsule arabique possède de magnifiques exemples de construction en bauge, mais elle est aussi présente dans l'architecture vernaculaire africaine (Burkina Faso, Bénin, Ghana, Nigeria...) et dans le patrimoine rural du Devon anglais et des Abruzzes italiennes. Sans oublier les bourrines vendéennes et les longères bretonnes et normandes !



PISÉ

TECHNIQUE

Le pisé permet de construire des murs massifs, qui peuvent être porteurs, en damant entre des banches de fines couches de terre pulvérulente. Le mélange étant à peine humide, le décoffrage est immédiat. Les strates compactées restent visibles, avec une texture riche par son grain et sa couleur. À cause de l'intensité du travail, le pisé est un matériau haut de gamme dans les pays industrialisés, et des entrepreneurs comme Martin Rauch expérimentent la préfabrication pour baisser les coûts. Dans certains pays (États-Unis, Australie...) la réglementation exige une stabilisation avec environ 10 % de ciment.



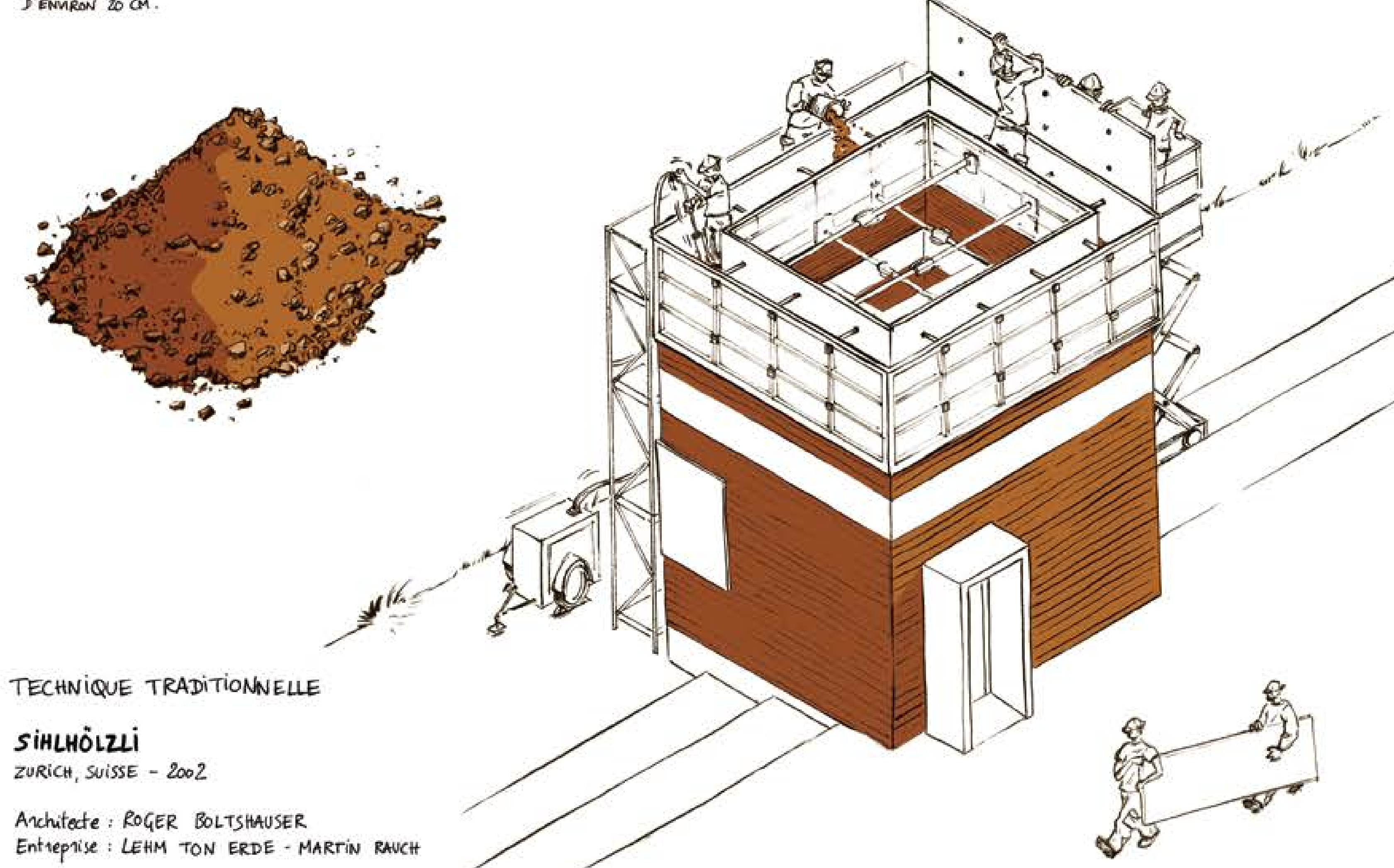
UN MÉLANGE DE TERRE HUMIDE (5 À 12 % D'EAU) CONTENANT GRAVIERS, SABLES, SILTS ET ARGILES, EST VERSÉ PUIS RÉPARTI DANS LE COFFRAGE POUR FORMER UNE COUCHE D'ENVIRON 20 CM.

LA TERRE EST COMPACTÉE À L'AIDE D'UN PISOIR MANUEL EN BOIS OU EN ACIER, OU D'UN FOULOIR PNEUMATIQUE.

LA COUCHE SUIVANTE EST VERSÉE PUIS RÉPARTIE.

CHAQUE NOUVELLE COUCHE EST À SON TOUR COMPACTÉE.

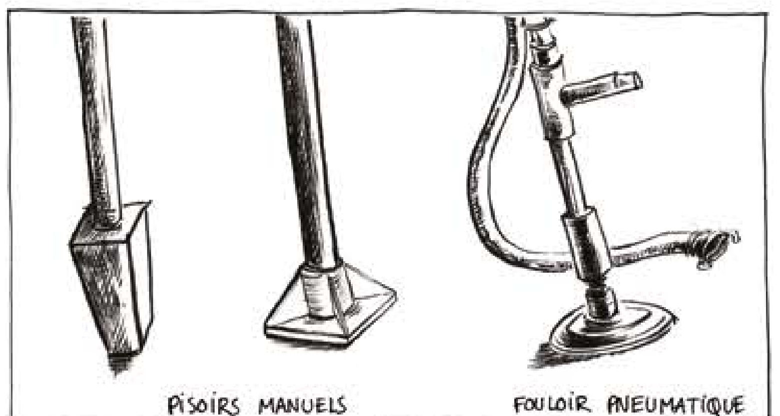
LE MUR, GÉNÉRALEMENT ÉPAIS DE 40 À 60 CM, PEUT ÊTRE DÉCOFFRÉ IMMÉDIATEMENT.

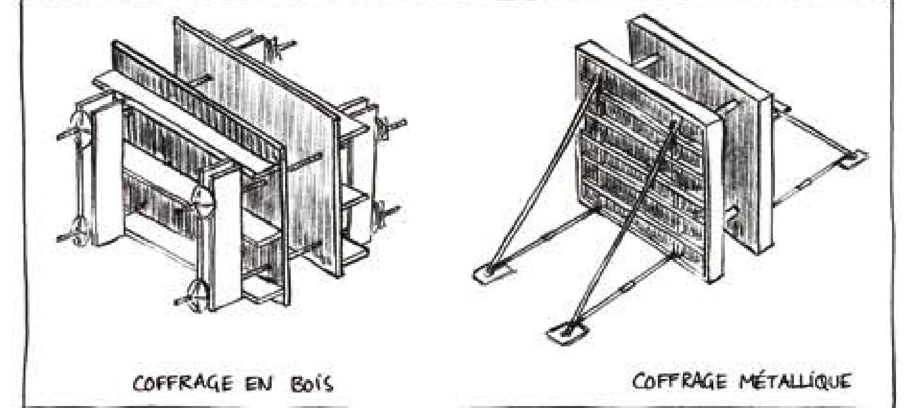


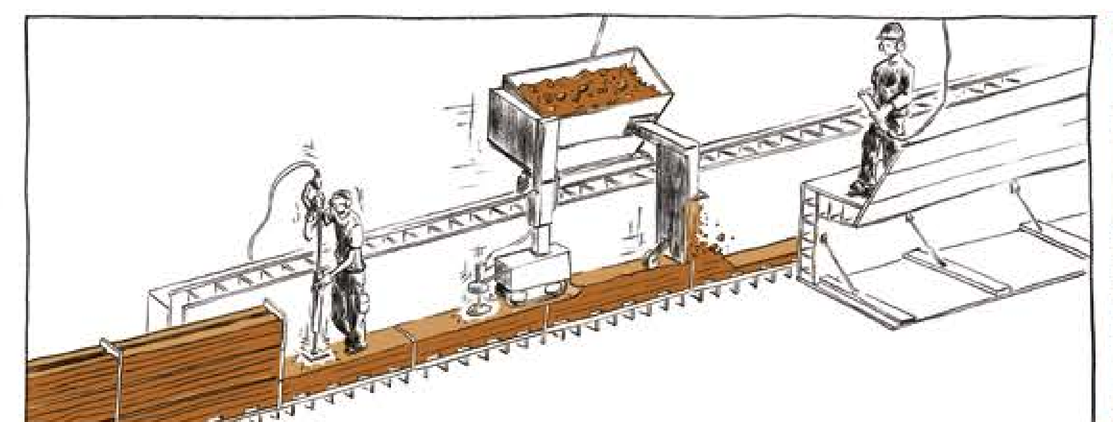
TECHNIQUE TRADITIONNELLE

SIHLHÖLZLI
ZURICH, SUISSE – 2002

Architecte : ROGER BOLTSHAUSER
Entreprise : LEHM TON ERDE – MARTIN RAUCH



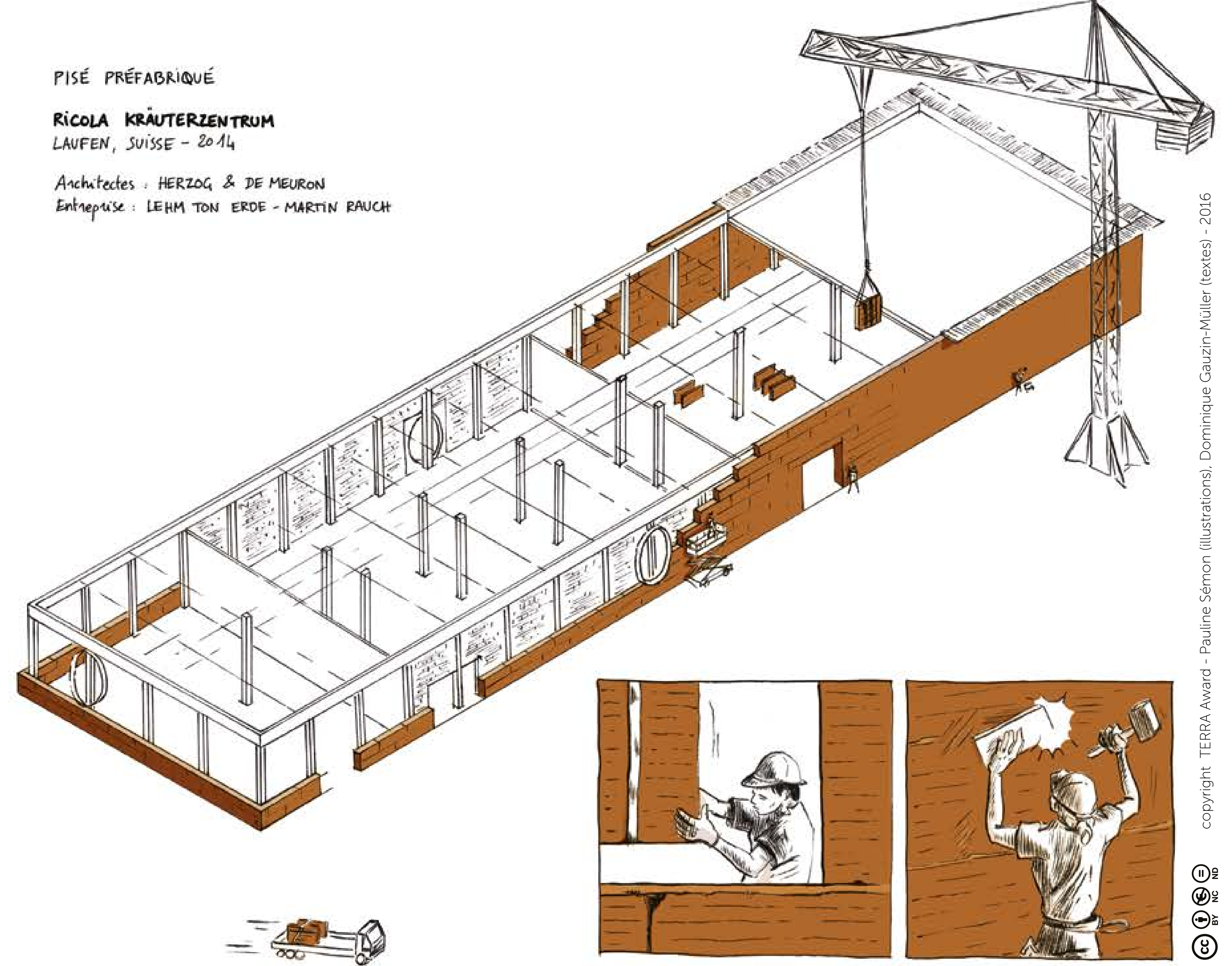




LES ÉLÉMENTS DE FAÇADE SONT PRÉFABRIQUÉS EN SÉRIE DANS UN COFFRAGE DE 50 M DE LONGUEUR.



ILS SONT ENSUITE ENTREPOSÉS POUR SÉCHAGE, AVANT LE TRANSPORT ET LA POSE SUR LE CHANTIER.



PISÉ PRÉFABRIQUÉ

RICOLA KRÄUTERZENTRUM
LAUFEN, SUISSE – 2014

Architectes : HERZOG & DE MEURON
Entreprise : LEHM TON ERDE – MARTIN RAUCH

LES MODULES PRÉFABRIQUÉS SONT MIS EN PLACE AVEC UN MORTIER DE TERRE.

LES JOINTS SONT RETOUCHÉS À LA MAIN AVEC LE MÉLANGE ORIGINEL.

HISTORIQUE

À cause de la technicité liée à l'usage du coffrage, le pisé est plus récent que l'adobe ou le torchis. De très anciens vestiges (9e siècle avant J.-C.) ont été repérés en Tunisie, et de nombreux sites inscrits au patrimoine mondial de l'UNESCO en témoignent : tronçons de la Grande Muraille de Chine, palais du Potala au Tibet et de l'Alhambra à Grenade, ksar Ait-Ben-Haddou au Maroc. En France, le pisé est traditionnel en Auvergne et surtout en Rhône-Alpes : 40 % de l'architecture vernaculaire et plusieurs immeubles du Vieux Lyon. Sa renaissance doit beaucoup aux livres de l'architecte-entrepreneur François Cointeraux (1740-1830).



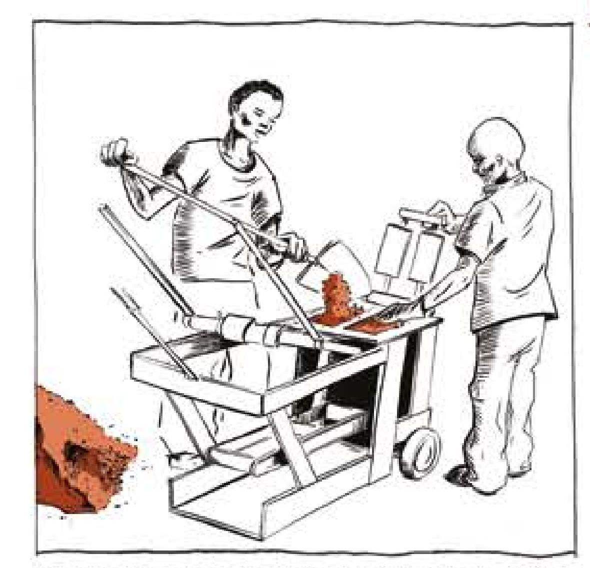
BTC

TECHNIQUE

Les blocs de terre comprimée (BTC) sont fabriqués dans des presses manuelles ou mécanisées avec de la terre humide et pulvérulente, composée d'une proportion équilibrée d'argiles, limons, sables et petits graviers. L'addition de ciment ou de chaux est courante pour augmenter les caractéristiques mécaniques et la résistance à l'eau. Il existe des unités industrielles capables de fabriquer 50 000 blocs par jour, mais la logistique de production et de transport des matériaux rend ces BTC moins économiques (et moins écologiques !) que celles des presses manuelles légères, facilement déplaçables d'un chantier à l'autre.



LORS DE SA PRÉPARATION, LA TERRE EST BROYÉE ET TAMISÉE POUR OBTENIR UN MATÉRIAU PULVÉRULENT, HUMIDE ET HOMOGÈNE.



LE MÉLANGE EST PLACÉ DANS LE MOULE DE LA PRESSE.



LA TERRE EST COMPRIMÉE MANUELLEMENT.

LE BLOC EST DÉMOULÉ ET SORTI DE LA PRESSE AVEC BEAUCOUP DE PRÉCAUTIONS, CAR LES ARÊTES SONT FRAGILES.

QUAND ILS SONT STABILISÉS, LES BLOCS SONT EMPILÉS DANS UNE ZONE DE STOCKAGE POUR EFFECTUER UNE CURE HUMIDE SOUS BÂCHE D'ENVIRON 28 JOURS.



LES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE SONT MAÇONNÉS AVEC UN MORTIER DE TERRE.

MARCHÉ CENTRAL

KOUDOUGOU, BURKINA FASO – 2005

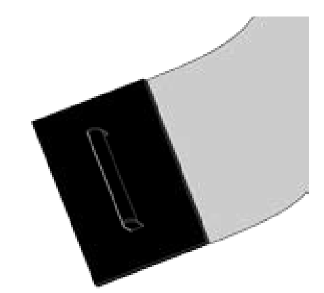
Architectes : LAURENT SÉCHAUD ET PIERRE JEQUIER

HISTORIQUE

Les blocs de terre comprimée (BTC) ne sont apparus que très récemment. Vers 1950, la première presse manuelle de l'ingénieur colombien Raul Ramirez (Centre CINVA de Bogota), et ses 300 à 800 briques quotidiennes, a conquis le marché international par sa simplicité et sa légèreté. Après plusieurs perfectionnements, la technique a pris son essor dans le cadre de programmes d'habitat économique en Afrique et en Amérique latine. À Mayotte, 20 000 logements ont ainsi été réalisés avec le soutien de CRAterre. Les BTC se prêtent aussi à des édifices d'envergure, comme l'a prouvé l'architecte indien Satprem Maïni avec une voûte de plus de 10 m de portée.



ENDUITS



TECHNIQUE

Les enduits en terre sont l'application la plus simple du matériau. Plus faciles à travailler que le plâtre ou le ciment, car ils sèchent plus lentement, ils ne sont pas corrosifs pour la peau. Ils nécessitent les mêmes outils : gamates pour gâcher le mélange, truelles, taloches et lisseuses. Le corps d'enduit est souvent en terre sableuse, malaxée avec de l'eau afin d'obtenir une pâte visqueuse, qui s'étale aisément sur tous les supports. Il est parfois nécessaire d'amender le mortier avec des fibres végétales afin d'éviter les fissures. La couche de finition, épaisse de quelques millimètres, demande une terre plus fine.



LA TERRE EST TAMISÉE POUR NE CONSERVER QUE LES ARGILES, LES SILTS ET LES SABLES.



L'APPORT DE 15 À 35 % D'EAU PERMET D'OBTENIR UNE PÂTE VISQUEUSE. L'ADJONCTION DE SABLE ET/OU DE FIBRES VÉGÉTALES EST PARFOIS NÉCESSAIRE POUR ÉVITER LA FISSURATION.





LE SUPPORT DOIT ÊTRE PRÉPARÉ AVANT L'APPLICATION DE L'ENDUIT : LE MUR EST GRATTÉ POUR UNE MEILLEURE ADHÉSION DU MÉLANGE, PUIS HUMIDIFIÉ.

OMICRON LIVING ROOMS

KLAUS, AUTRICHE - 2015
Concepteurs : ANNA HERINGER ET MARTIN RAUCH





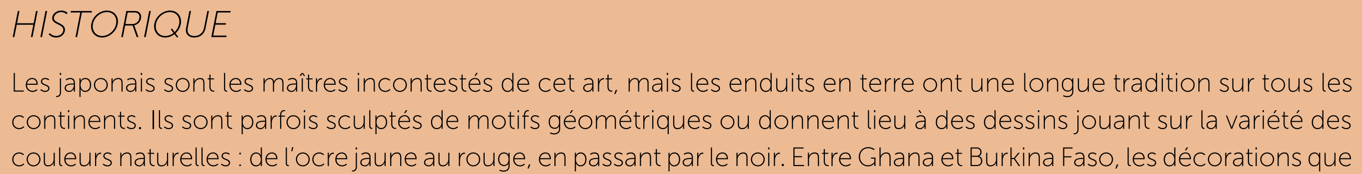
LE CORPS DE L'ENDUIT SERT À BOUCHER LES TROUS ET À HOMOGÉNÉISER LA SURFACE. CE MÉLANGE TRÈS SABLEUX ET/OU FIBREUX DE 2 À 3 CM D'ÉPAISSEUR EST APPLIQUÉ AVEC UNE TALOCHE OU UNE TRUELLE.



LA DERNIÈRE COUCHE EST TRÈS FINE. ICI, LE MÉLANGE D'ARGILE, SABLE FIN ET CIRE A ÉTÉ APPLIQUÉ À LA TRUELLE ET POLI POUR OBTENIR UNE FINITION BRILLANTE.

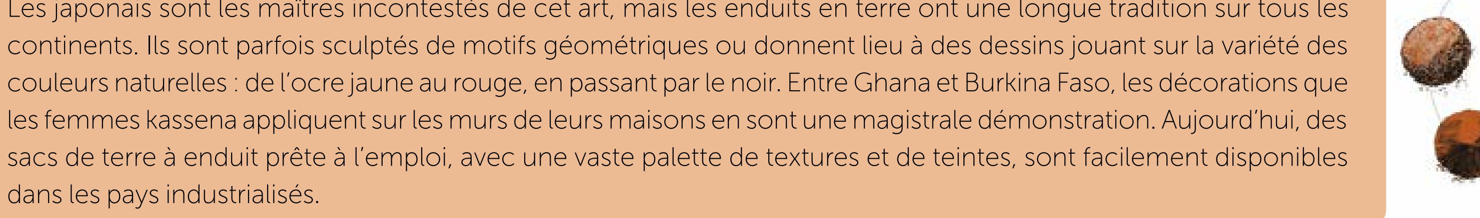


L'ENDUIT DE FINITION PEUT AUSSI ÊTRE MIS EN OEUVRE À LA MAIN.



HISTORIQUE

Les japonais sont les maîtres incontestés de cet art, mais les enduits en terre ont une longue tradition sur tous les continents. Ils sont parfois sculptés de motifs géométriques ou donnent lieu à des dessins jouant sur la variété des couleurs naturelles : de l'ocre jaune au rouge, en passant par le noir. Entre Ghana et Burkina Faso, les décorations que les femmes kassena appliquent sur les murs de leurs maisons en sont une magistrale démonstration. Aujourd'hui, des sacs de terre à enduit prête à l'emploi, avec une vaste palette de textures et de teintes, sont facilement disponibles dans les pays industrialisés.



TESTER SA TERRE

EXTRACTION, COMPOSITION ET ESSAIS DE TERRAIN

Pour réaliser les expériences proposées ici, et déterminer la composition d'une terre, il est nécessaire de creuser un trou et de prélever son échantillon sous la couche végétale.



LA TERRE CONTIENT

des cailloux
20cm à 2cm



des graviers
2cm à 2mm

des sables
2mm à 60µm







des argiles
< 2µm

des silts
60µm à 2µm

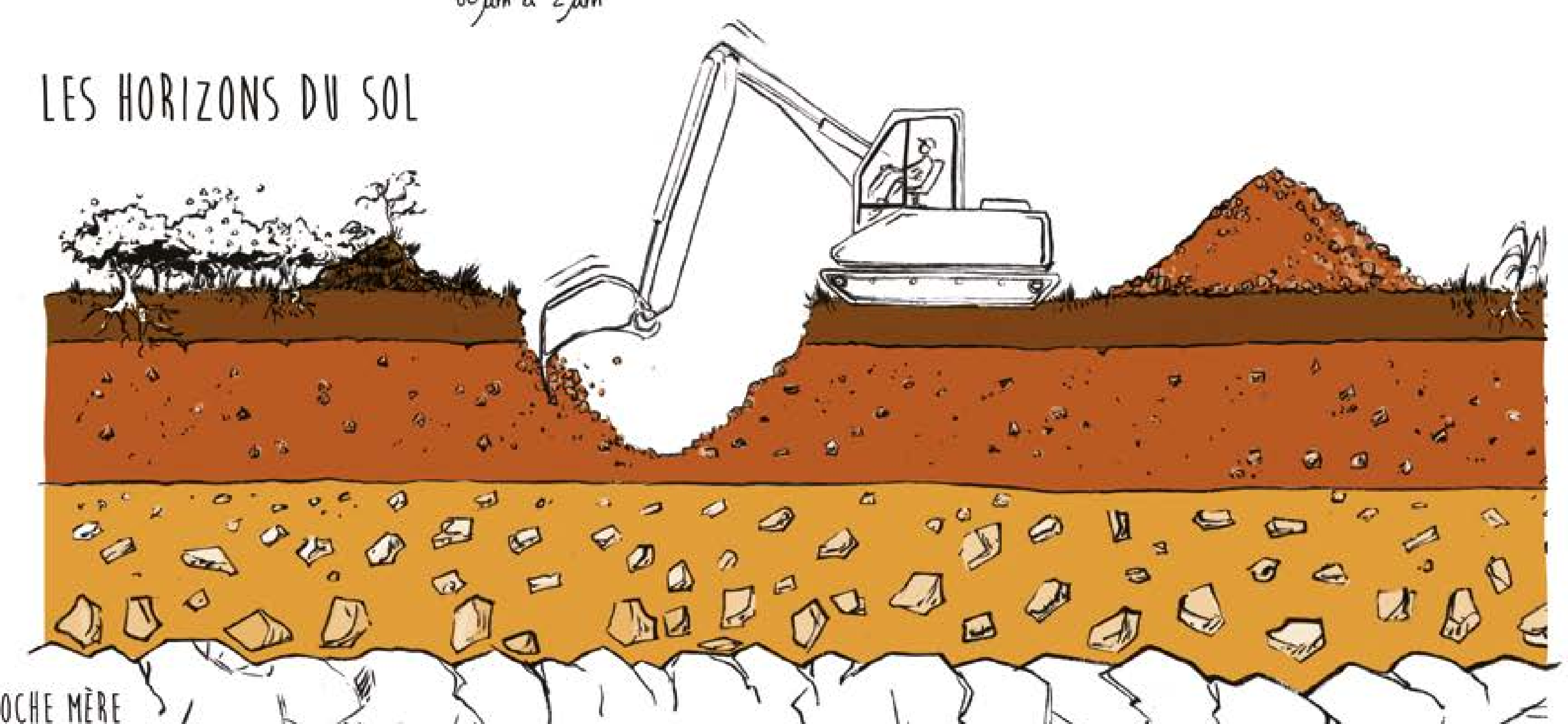
Les terres utilisées pour la construction se composent de cinq éléments : cailloux, graviers, sables, silts (ou limons) et argiles. Mais quelles en sont les proportions exactes ?

Chaque terre est unique, et sa composition doit être analysée avant le chantier afin de déterminer la technique de construction la mieux adaptée à la ressource du lieu. Pour le torchis, la bauge et l'adobe, on peut amender le mélange avec des fibres végétales.

La partie du sol utilisée pour la construction n'est pas la terre de surface, riche en matériaux organiques, qui est réservée à l'agriculture.

Le sol est un empilement de plusieurs couches superposées, appelées horizons. C'est l'horizon B, presque exclusivement minéral, qui est utilisé pour la construction.

LES HORIZONS DU SOL



AU CREUX DE LA MAIN

CES MANIPULATIONS SENSORIELLES PERMETTENT D'ÉVALUER RAPIDEMENT LA COMPOSITION DE LA TERRE.

LE MATÉRIEL



Une poignée de terre prélevée dans la seconde couche du sol.



Une petite bouteille au bouchon percé remplie d'eau.

1. TOUCHER

La terre est à l'**état sec** : sèche au toucher et impossible à modeler. Manipuler avec les doigts, en triant les cailloux s'il y en a.



La terre est-elle douce ou rugueuse ?

On peut déjà deviner au toucher si elle contient beaucoup d'argiles et de silts ou, au contraire, beaucoup de sables et de graviers.



Peut-on pulvériser des agrégats de terre ?

Si les éléments se collent entre eux, il y a sûrement une grande quantité d'argile.

2. ÉCOUTER ET SENTIR



Faire crisser la terre à l'oreille. Chaque terre possède un son propre selon les proportions des composants.

Ajouter un peu d'eau et mélanger. La terre est maintenant à l'**état humide** : désagrégée, légèrement modelable mais friable.



Quelle est l'odeur de la terre ?

Des odeurs d'humus (feuilles mortes, sous-bois) témoignent de la présence d'éléments végétaux. Sinon, la terre n'est composée que de minéraux.

3. TEST DE L'EMPREINTE

Ajouter encore un peu d'eau pour atteindre l'**état plastique**. La terre devient facilement modelable, non friable et ne colle pas aux doigts.



Former une petite boule au creux de la main.



Faire une empreinte au centre avec le pouce.



Verser quelques gouttes d'eau et compter les secondes avant que l'eau soit totalement absorbée par la boule de terre.



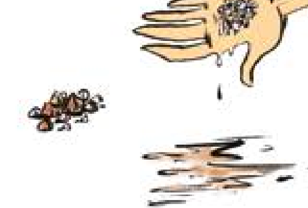
Plus l'eau s'écoule lentement, plus la terre est riche en argile.

4. SÉPARER LES COMPOSANTS

Verser progressivement de l'eau au creux de la main pour atteindre l'**état visqueux**. La terre est maintenant difficilement modelable, colle aux doigts mais ne coule pas.



Continuer à verser de l'eau en lavant doucement la terre avec l'autre main, jusqu'à ce que l'eau qui s'écoule devienne transparente.
La terre atteint l'**état liquide**.



On a maintenant filtré les composants par taille de grains. Tout ce qui reste dans le creux de la main est trop gros pour s'être écoulé avec l'eau : ce sont les sables et les graviers.

LE TEST DU CIGARE

COMMENT DÉTERMINER LA QUANTITÉ D'ARGILE DANS UNE TERRE ?



1.



Tamiser l'échantillon de terre au-dessus de la bassine, afin d'écarter les graviers et les cailloux.



Ajouter de l'eau et mélanger jusqu'à atteindre l'état plastique. La terre est alors facilement modelable, non friable et ne colle pas aux doigts.



Laisser reposer 24h.

2.



Le lendemain, récupérer le mélange et former une boule avec les mains.

3.

Sur une table propre et lisse, poser la boule et modeler un cigare en le pressant. Il doit faire entre 2 et 3cm de diamètre et 50cm à 60cm de longueur.

4.

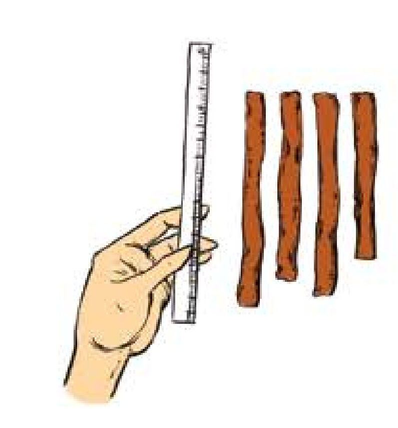


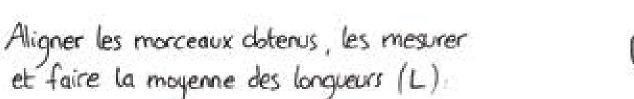
Soulever le cigare et le faire glisser doucement dans le vide.



Il va casser et se diviser tout seul en plusieurs morceaux. Mettre ces morceaux de côté et jeter le dernier.

5.





Aligner les morceaux obtenus, les mesurer et faire la moyenne des longueurs (L).

si L < 5cm, la terre est peu cohésive.
si 5 < L < 15cm, la terre est cohésive.
si L > 15cm, la terre est très cohésive.

QUE SE PASSE-T-IL?

Plus la longueur est importante, plus la terre est cohésive (collante) et plus elle contient d'argile.

LE TEST DE LA BOUTEILLE

COMMENT DÉTERMINER LES PROPORTIONS DES ÉLÉMENTS QUI COMPOSENT UNE TERRE ?

LE MATÉRIEL

Une bouteille en verre d'1 litre, marquée au 1/4 du volume.

Un entonnoir

1 litre d'eau

Un échantillon de la terre à tester.

1.



Remplir la bouteille avec la terre à tester jusqu'à la marque.

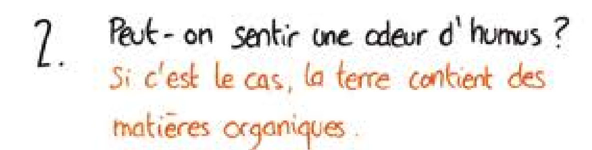


Compléter le volume avec l'eau.



Bien mélanger.

2. Peut-on sentir une odeur d'humus ? Si c'est le cas, la terre contient des matières organiques.





3. Mélanger à nouveau, puis poser la bouteille dans un endroit où elle ne bougera plus de toute l'expérience. Le test peut commencer.



4. QUE SE PASSE-T-IL?

Observer la séparation progressive des grains avec une loupe. L'expérience est terminée quand l'eau devient limpide. On peut alors voir tous les composants de la terre.

Lentement, les composants de la terre mélangés à l'eau vont se déposer au fond de la bouteille. D'abord les plus lourds, puis les plus légers.



